



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

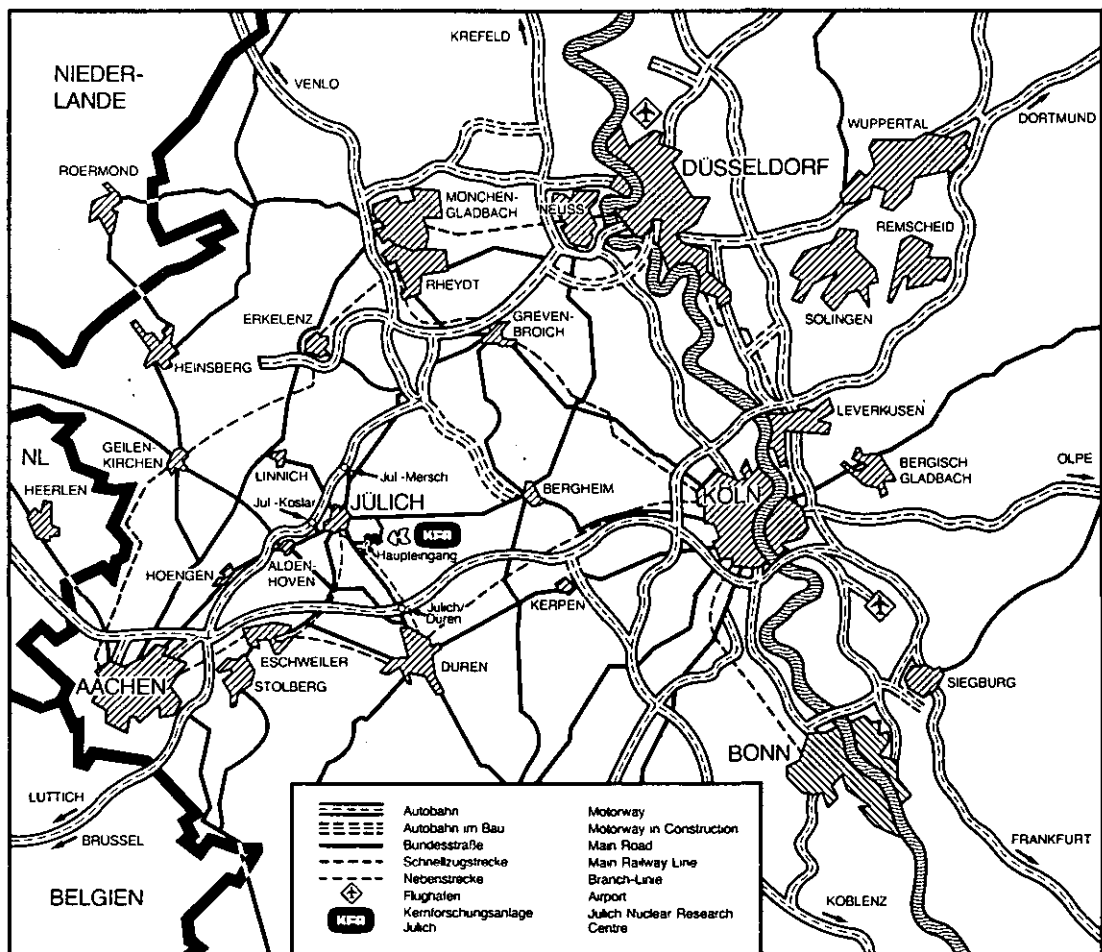
Institut für Nukleare Sicherheitsforschung

**Untersuchungen
zu Reaktivitätsstörfällen
beim HTR-MODUL**

von
J. Mertens

**Jül - Spez - 172
September 1982**

ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 172

Institut für Nukleare Sicherheitsforschung Jül - Spez - 172

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556 kfa d

Untersuchungen zu Reaktivitätsstörfällen beim HTR-MODUL

von
J. Mertens

UNTERSUCHUNGEN ZU REAKTIVITÄTSSTÖRFÄLLEN BEIM HTR-MODUL

von

J. Mertens

KURZFASSUNG

Unter Verwendung des axial-eindimensionalen Kurzzeitdynamik-Programms DYNOTTO werden Leistungs- und Temperaturtransienten eines Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktors kleiner Leistung (HTR-Modul) bei Reaktivitätsstörfällen innerhalb der ersten halben Stunde untersucht.

Auch bei Störfällen wie dem ungewollten Ausfahren aller Regelstäbe mit unterstelltem Ausfall der gesamten Anlagenabschaltung zeigt sich die hohe inhärente Sicherheit insbesondere kleiner Hochtemperaturreaktoren. Die Brennstofftemperaturen bleiben unter 1200 °C, und auch für den weiteren, von der Nachwärmeproduktion bestimmten Störfallverlauf zeichnen sich keine kritischen Werte ab.

UNTERSUCHUNGEN ZU REAKTIVITÄTSSTÖRFÄLLEN BEIM HTR-MODUL

von

J. Mertens

INHALT

Seite

1. Einführung und Zielsetzung	1
2. Beschreibung des Reaktorkerns	1
3. Verwendete Rechenprogramme und Reaktormodelle	2
4. Durchgeführte Untersuchungen	3
4.1 Vorarbeiten	3
4.2 Transientenrechnungen	4
5. Ergebnisse der Transientenrechnungen	4
6. Zusammenfassung und Bewertung	8
Literatur	10
Abbildungen	11

1. Einführung und Zielsetzung

Im Mai 1980 stellte die KWU-Firmengruppe ein Konzept für einen kleinen Hochtemperaturreaktor vor; in der Zwischenzeit wurde dieses Konzept weiterentwickelt und auch modifiziert /1, 2, 3, 4/. Die dort vorgestellten Ergebnisse von Rechnungen zu Leistungs- und Temperaturtransienten bei Reaktivitätsstörfällen lassen die hohe inhärente Sicherheit des Reaktors erkennen. Da im Zuge einer größeren Arbeit /5/ auch in der KFA ein entsprechendes Rechenmodell für diesen Reaktor (im folgenden HTR-Modul genannt) erstellt worden war, bot sich die Möglichkeit, ohne großen Aufwand durch eigene Parameterstudien Aspekte des Kurzzeit-Störfallverhaltens auch mit anderen Randbedingungen zu untersuchen.

2. Beschreibung des Reaktorkerns

In Tabelle 1 sind die wichtigsten nuklearen Auslegungsdaten des hier betrachteten HTR-Modul zusammengestellt.

<u>Kern</u>		
Thermische Leistung	MW _{th}	200
Mittlere Leistungsdichte	MW /m ³	3,0
Höhe	m	9,6
Radius	m	1,5
Schüttungsdichte der Kugeln		0,61
Beschickungsweise		MEDUL
Zonenzahl		1
<u>Reflektor</u>		
Dicke des oberen R.	cm	150
Dicke des seitlichen R.	cm	100
Dicke des unteren R.	cm	100
<u>Wärmeübertragung</u>		
Aufheizung des Kühlgases	°C	250-750
Betriebsdruck	bar	50
<u>Kugel</u>		
Radius	cm	3
Radius der Matrix	cm	2,5
Kernchenmaterial		UO ₂
Schwermetallgehalt pro Kugel	gr	7

Tabelle 1: Nukleare Auslegungsdaten eines HTR-Modul /5/

Als sicherheitstechnisch wichtige Merkmale sind die geringe Leistungsdichte, der kleine Radius (ermöglicht die ausschließliche Verwendung von Regel- und Abschaltvorrichtungen im Seitenreflektor), der niedrige Schwermetallgehalt pro Brennelement (reduziert den Reaktivitätsanstieg bei Wassereintritt) sowie die geringe Urananreicherung von 7,5 % zu sehen. Aus der LEU-Beladung resultiert ein betragsmäßig großer negativer Temperaturkoeffizient.

Abweichend von der in /5/ verwendeten Auslegungsvariante wurde für die hier vorgestellten Untersuchungen eine später eingeführte Lastwechselregelung durch 6 Kurzstäbe im Seitenreflektor angenommen; aus der Reaktivitätsbindung dieser 6 Kurzstäbe im Vollast-Gleichgewichtsbetrieb von etwa 1 Nile /2, 3, 4/ ergeben sich Randbedingungen für potentielle Reaktivitätsstörfälle bei Vollast.

3. Verwendete Rechenprogramme und Reaktormodelle

Für die Parameterstudien wurden zwei Rechenprogramme verwendet: das stationäre Neutronendiffusionsprogramm CITATION /6/ und das Kurzzeit-Dynamikprogramm DYNOTTO /7/, das trotz seines Namens nicht an die OTTO-Beschickungsweise gebunden ist.

Da in DYNOTTO lediglich eine Dimension - hier die z-Richtung - berücksichtigt werden kann, lassen sich Regelstäbe im Seitenreflektor nur unvollkommen darstellen. In /5/ wurde dazu vorbereitend in einer Reihe von CITATION-Rechnungen der gesamte Kern homogen solange vergiftet, bis sich ein Δk von rund 12 Nile (maximale Reaktivitätsbindung durch Abschaltssysteme /8/) ergab; mit den so gefundenen makroskopischen Wirkungsquerschnitten wurde dann im DYNOTTO-Modell nur der Deckenreflektor vergiftet. Dies entsprach einer Reaktivitätsbindung von 0,2 Nile. Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden - ebenfalls mit CITATION - von oben beginnend zusätzliche Kernzonen vergiftet, um so einen ungefähren Zusammenhang zwischen tiefer eingefahrenen Stäben und deren Reaktivitätswirkung zu erhalten. Das Ausfahren von Regelstäben wird in DYNOTTO durch entsprechende Reduzierung der vergifteten Kernbereiche simuliert.

Inwieweit eine solche Regelstabdarstellung beispielsweise durch unrealistische Flußverformungen die Ausgangsbedingungen für eine Transientenrechnung oder deren Ergebnisse selbst beeinflusst, läßt sich wohl nur mit einem (wenigstens) zweidimensionalen Dynamikprogramm klären.

Einen nachgewiesenen, erheblichen Einfluß auf den berechneten Transientenverlauf hat die Simulationsart der Neutronenleckage in radialer Richtung durch Bucklings /5, 9/. Die in /5/ verwendete Darstellung des thermischen Bucklings in linearer Abhängigkeit von der Moderatortemperatur wurde bei den hier beschriebenen Rechnungen beibehalten.

4. Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Vorarbeiten

In vorbereitenden Rechnungen wurde zunächst die Reaktivitätswirkung in Abhängigkeit vom vergifteten Kernabschnitt ermittelt. Die Tabelle 1 zeigt die mit CITATION gewonnenen Ergebnisse.

Vergiftung bis Zone	Simulierte Einfahrtiefe (cm)	k_{eff}	Δk^1 (Nile)	Bemerkung
2	150	0.9963	0.20	Deckenreflektor
1	246	0.9912	0.71	
3	342	0.9848	1.35	
4	438	0.9781	2.02	
5	534	0.9710	2.75	
6	630	0.9626	3.57	
7	726	0.9517	4.66	
8	822	0.9355	6.28	
9	918	0.9100	8.83	
10	1014	0.8840	11.43	
11	1110	0.8826	11.57	unterste Kernzone

¹⁾ Das k_{eff} des unvergifteten Reaktors betrug 0.9983

Tabelle 2 : Zuordnung von Einfahrtiefe und Reaktivitätswirkung

Einer Reaktivitätsbindung von beispielsweise 0.7 Nile entspricht also im Rechenmodell eine Stabeinfahrtiefe von rund 2.5 m, gerechnet von der Deckenreflektor-Oberkante an. Wegen des stark vereinfachten Modells läßt dies keinen direkten Schluß auf die tatsächliche Stabstellung zu.

4.2 Transientenrechnungen

Die Randbedingungen für die untersuchten Reaktivitätsstörfälle wurden wie folgt festgelegt:

- Ausgangszustand ist der Vollast-Gleichgewichtsbetrieb.
- Die Regelstäbe fahren völlig aus dem Seitenreflektor aus, variiert werden Ausgangsstellung und Ausfahrgeschwindigkeit.
- Es erfolgt keine Reaktorschnellabschaltung; in zwei Fällen wird auch der Ausfall der gleichzeitig ausgelösten Gebläseabschaltung angenommen. Ein erfolgreiches Abschalten des Gebläses wird durch eine lineare Reduzierung des Gas-Massenstroms von 100 % auf 2 % (vgl. Rechnungen zum AVR in /5/) ab $t = 15$ sec innerhalb einer Minute simuliert.
- Nicht berechnet werden Änderungen des Primärkreisdruckes sowie Auswirkungen des Störfalles auf die Gastemperatur am Kerneintritt. Beide Größen bleiben während des Störfallverlaufes konstant.

Generell wurden bei den Rechnungen die zeitlichen Konzentrationsänderungen des Xenon-135 ortsabhängig berücksichtigt. Zusätzlich ist das transiente Verhalten ohne Reaktivitätszufuhr nach einer Reduzierung des Massendurchsatzes von 100 % auf 25 % auch bei konstanten Xenonkonzentrationen berechnet worden.

5. Ergebnisse der Transientenrechnungen

Die untersuchten Fälle sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Die Ergebnisse werden anhand der zeitlichen Verläufe von Reaktor-Gesamtleistung und lokalen Brennstoff- bzw. Gastemperaturen diskutiert.

Fall	Beginn/Ende des Stabausfahrens (sec)	Ausfahr- geschwin- digkeit (cm/sec)	Δk (Nile)	Beginn/Ende der Durchsatzredu- zierung (sec)	Restdurch- satz (%)	Simulations- zeit (min)	max. Brennstoff- Temperatur (°C)	Bemerkungen
1	0/246	1	0,7	15/75	2	22	850	Fälle 1 - 5 mit Xenonänderung
2	0/246	1	0,7	-	100	23	1000	
3	0/342	1	1,35	15/75	2	22	900	
4	0/684	0,5	1,35	15/75	2	22	900	
5	0/342	1	1,35	-	100	23	1120	
6	-	-	-	0/60	25	83	830	ohne Xenonänderung
7	-	-	-	0/60	25	80	300	mit Xenonänderung

Tabelle 3 : Zusammenstellung der gerechneten Fälle

In Fall 1 steigt die Reaktorleistung (Bild 1) auf das etwa zweifache der Nennleistung an; der Anstieg wird durch den Temperaturkoeffizienten begrenzt, der zusammen mit der Durchsatzreduzierung eine schnelle Selbstabschaltung bewirkt. Der restliche Massendurchsatz von 2 % reicht aus, um den Reaktor in den oberen Bereichen abzukühlen (Bild 2). Am Kernboden übertrifft die Gastemperatur geringfügig diejenige im Kugelzentrum; die Brennstofftemperaturen erreichen dort nach 22 min 850 °C. Die stärksten zeitlichen Temperaturgradienten treten im Leistungsmaximum auf (mittleres Kurvenpaar).

Bei unverändertem Massendurchsatz (Fall 2, Abbildungen 3 und 4) stellt sich nach beendeter Stabausfahrt ein neues ungefähres Gleichgewicht beim 1.4-fachen der Nennleistung ein; die Reaktorleistung steigt aber langsam weiter an (ab $t = 250$ sec) durch den jetzt erhöhten Xenonabbau. Der Leistungsverlauf während der Stabausfahrphase (0 - 246 sec) läßt sich qualitativ aus dem Zusammenspiel zwischen relativ langsamer und zeitlich abnehmender Reaktivitätszufuhr und einer Reaktivitätsabnahme durch den Temperaturanstieg (Bild 4) erklären: die starke Kühlung des Kerns, die auch an der großen Temperaturdifferenz zwischen Kugelzentrum und Kühlgas erkennbar ist, hat zunächst geringere mittlere Kerntemperaturen als in Fall 1 zur Folge, so daß sich jetzt die beiden gegenläufigen Reaktivitätseffekte zeitweise kompensieren.

Im weiteren Störfallablauf stabilisieren sich die Temperaturen entsprechend dem Leistungsniveau; der schnellste Anstieg ist im Leistungsmaximum (Masche 20) zu verzeichnen. Hier steigen die Temperaturen schon nicht mehr an, während die Stäbe noch aus dem oberen Bereich des Deckenreflektors ausfahren (ab $t = 150$ sec). Am Kernboden (oberes Kurvenpaar) nehmen die Temperaturen langsamer zu. Nach 23 min, am Ende des Berechnungszeitraums, werden hier im Kugelzentrum 1000 °C erreicht; zeitweise übertrifft die Heliumtemperatur die des Brennstoffs.

Die größere und über einen längeren Zeitraum erfolgende Reaktivitätszufuhr von 1.35 Nile in Fall 3 bewirkt - verglichen mit Fall 1 - einen höheren Leistungsüberschlag auf mehr als das 2.2-fache der Nennleistung und bei Vorgabe der gleichen Gebläseauslauf-Charakteristik eine langsamere Selbstabschaltung (Bild 5).

Die Abbildung 6 zeigt die Temperaturverläufe. Erwartungsgemäß ergibt sich ein gegenüber Fall 1 insgesamt höheres Temperaturniveau. Auch hier reicht der restliche Massendurchsatz von 2 % aus, die oberen Kernbereiche abzukühlen. In den unteren Bereichen werden die Brennelementtemperaturen durch das weiter oben aufgeheizte Kühlgas bestimmt. Am Kernboden erreicht die Kugelzentraltemperatur

am Ende des Berechnungszeitraumes von 22 min nahezu 900 °C.

Bei dieser Störfallsimulation werden allerdings die Grenzen des eindimensionalen Reaktormodells und der entsprechenden Simulierung des Regelsystems besonders deutlich: die axiale Leistungs- und Temperaturverteilung ist sehr wahrscheinlich unrealistisch verändert; dies ist an den Brennstofftemperaturen zu Störfallbeginn ($t = 0$ sec in Bild 6) zu erkennen, die jetzt im Leistungsmaximum nur noch 400 °C betragen und damit etwa 150 °C unter dem Wert des Vollast-Gleichgewichtsbetriebes liegen /5/.

Die Auswirkungen einer auf 0,5 cm/s halbierten Ausfahrgeschwindigkeit der Regelstäbe lassen sich anhand des Falles 4 verdeutlichen. Der Leistungsüberschlag (Bild 7) ist mit 160 % der Nennleistung wesentlich geringer als beim schnelleren Stabausfahren, und das in der frühen Störfallphase geringere Temperaturniveau des Kerns (vgl. Abbildungen 6 und 8) hat eine Rekritikalität des Kerns und einen schwachen Leistungsanstieg zwischen $t = 200$ sec und 300 sec zur Folge. Danach sinkt die Reaktorleistung - trotz weiterer, allerdings schwacher Reaktivitätszufuhr - aufgrund des Temperaturanstiegs bis auf das Nachwärmniveau ab. Im weiteren Störfallverlauf stellen sich ähnliche Temperaturen wie in Fall 3 ein.

Der Fall 5, bei dem die ausfahrenden Regelstäbe ebenfalls einen Reaktivitätsbeitrag von 1.35 Nile liefern, zeigt aufgrund des als unverändert unterstellten Massendurchsatzes und der somit ausbleibenden Selbstabschaltung wieder ein hohes Leistungs- und Temperaturniveau.

Die Reaktor-Gesamtleistung (Bild 9) scheint nach etwa 300 Sekunden einen neuen Gleichgewichtswert von 340 MW zu erreichen; der erhöhte Xenonabbrand bewirkt jedoch einen weiteren langsamen Anstieg. Der Leistungsverlauf nach dem ersten Überschwingen wird - noch ausgeprägter als in Fall 2 - durch die langsame Reaktivitätszufuhr und die ansteigenden Temperaturen (Bild 10) bestimmt. Im weiteren Störfallverlauf erreichen die Brennelementtemperaturen am Kernboden rund 1100 °C; dem Leistungsverlauf entsprechend zeigen sie eine langsam steigende Tendenz.

Abschließend sollen noch zwei Rechenfälle vorgestellt werden, die den Einfluß der zeitabhängigen Xenonvergiftung bei starker Reduzierung des Massendurchsatzes aus dem Vollastbetrieb heraus zeigen. In den Rechnungen wurde der Kühlgasdurchsatz innerhalb der ersten Minute linear von 100 % auf 25 % vermindert.

Hält man die Xenonkonzentration "künstlich" konstant, stellt sich nach Einschwingvorgängen eine neue stationäre Leistungshöhe von etwa 28 % der Nennleistung ein (Bild 11). Durch die schlechtere Wärmeabfuhr vermindert sich der Temperaturgradient in den Kugeln; die Brennelement-Zentraltemperaturen sinken in Bereichen hoher Leistungsdichte (beispielsweise Maschenpunkt 20, Bild 12) unter ihren stationären Wert ab, wogegen die zugehörigen Gastemperaturen ansteigen.

Berücksichtigt man realistisch die zeitlichen Xenondichte-Änderungen, hier also den Anstieg nach Absinken der Leistung, schaltet sich der Reaktor mit beginnendem Xenonaufbau nach etwa 12 Minuten langsam ab. Der Leistungsverlauf ist in Abbildung 13 dargestellt; er wurde berechnet ohne äußere Regelmaßnahmen.

Durch den verbleibenden Massendurchsatz von 25 % des Vollastwertes sinken die Temperaturen jetzt stark ab (Bild 14).

Im restlichen betrachteten Zeitraum - etwa 50 min - wird der Reaktor nicht wieder kritisch. Die Xenonvergiftung bewirkt also eine mittelfristige Unterkritikalität des Reaktors auch bei Temperaturen unterhalb denen des Normalbetriebes.

6. Zusammenfassung und Bewertung

Bei der Diskussion von Sicherheitseigenschaften kleiner HTR kommt der bei Störfällen auftretenden maximalen Brennelementtemperatur eine zentrale Bedeutung für die Spaltproduktfreisetzung zu. Die hier vorgestellten Rechnungen zeigen, daß auch bei schnellen Leistungstransienten, die durch schwere Reaktivitätsstörfälle wie Ausfahren aller Regelstäbe ausgelöst werden, die Brennstofftemperaturen auf zulässige Werte deutlich unterhalb 1000 °C begrenzt bleiben. Bei diesen schon an sich sehr unwahrscheinlichen Störfällen wurde noch erschwerend der Ausfall des Schnellabschaltsystems unterstellt.

Mit dem verwendeten Programm DYNOTTO lassen sich zwar sinnvoll nur die Temperaturverläufe in der frühen Störfallphase - etwa innerhalb der ersten halben Stunde - untersuchen; die Rechnungen lassen jedoch keine schwerwiegenden Auswirkungen im weiteren Verlauf erwarten. Der Grund liegt in der praktisch immer erfolgenden Selbstabschaltung des Reaktors über den Temperaturkoeffizienten innerhalb weniger Minuten; somit bleibt der Spaltproduktzerfall die bestimmende Wärmequelle für den langfristigen Temperaturverlauf im Kern.

Nimmt man deterministisch an, daß bei Reaktivitätsstörfällen zusammen mit der Schnellabschaltung auch die zugleich angeregte Gebläseabschaltung (und damit die Reaktor-Selbstabschaltung) ausfällt, bleiben dennoch wenigstens in den ersten 30 Minuten nach Störfallbeginn die maximalen Brennelementtemperaturen auf Werte unter 1200 °C begrenzt. Eine sinnvolle Aussage über den weiteren Störfallverlauf kann in diesem Fall ohne eine Untersuchung des Sekundärkreisverhaltens und der Komponentenbelastungen nicht gemacht werden; ein unverminderter Massendurchsatz über so lange Zeit erscheint aber als extrem unwahrscheinlich.

Es soll nicht verschwiegen werden, daß durch die Berücksichtigung lediglich einer räumlichen Dimension (hier der axialen) in den Rechnungen Unsicherheiten entstehen. Insbesondere bei Reaktoren mit hoher, schlanker Bauform können radiale Effekte eine wesentliche Rolle bei der zeitabhängigen Neutronenbilanz spielen. Untersuchungen in axial-radialer Geometrie sind zur exakteren Simulation auf Dauer gesehen unerläßlich. Auch Regelstäbe im Seitenreflektor und deren Einfluß auf axiale Profile ließen sich dann wesentlich besser darstellen. Daß unter der zur Zeit noch unvermeidlichen Beschränkung auf eine räumliche Dimension dennoch aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden können, zeigen die in /5/ enthaltenen Nachrechnungen von AVR-Experimenten.

Der zur Zeit in Planung befindliche AVR-II /10/ basiert wesentlich auf dem HTR-Modul, der den hier vorgestellten Rechnungen zugrunde lag. Der Reaktor wird daher aller Wahrscheinlichkeit nach ein ähnlich günstiges Störfallverhalten zeigen. Die im Zuge des Vorhabens notwendigen Rechnungen bieten die Gelegenheit, unter weiterer Verbesserung der Reaktormodelle die hohen Sicherheitsreserven insbesondere kleiner HTR aufzuzeigen.

Literatur

- /1/ Überlegungen der KWU-Gruppe zu einem alternativen HTR-Konzept, Arbeitspapier vom 2.5.1980
- /2/ Anlagenkonzept eines Modul-HTR am Beispiel einer Kraftwerksanlage und Verhalten des HTR-M bei anomalem Betrieb sowie bei extremen Störfällen, GHT-Tischvorlagen, Juni 1981
- /3/ Hochtemperatur-Modul zur Prozeßwärmeerzeugung, Technischer Bericht ITB 78.2634.1 der GHT, Oktober 1981
- /4/ H. Reutler, G. Lohnert:
Der modulare HTR. Ein neues Konzept für den Kugelhaufenreaktor, "atomwirtschaft", Januar 1982
- /5/ H. Engelbrecht:
Analysen zur Dynamik von Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktoren, Jül-Spez-123, August 1981
- /6/ T.B. Fowler, D.R. Vondy, G.W. Cunningham:
CITATION, ORNL-TM-2496, Rev. 2, 1971
- /7/ H.J. Scharf, J. Vigassy:
DYNOTTO, ein axial-eindimensionales Programm zur Untersuchung des Raum-Zeit-Verhaltens von Hochtemperaturreaktoren mit kugelförmigen Brennelementen, Jül-1246, Oktober 1975
- /8/ H. Engelbrecht:
KFA-Jülich, persönliche Mitteilung
- /9/ K. Schultes:
Untersuchungen zum Temperaturkoeffizienten und zur Kurzzeitdynamik am Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor PNP 3000, Jül-1566, Januar 1979
- /10/ Nukleare Prozeßwärmeanlage AVR-II, Konzeptbericht, Kernforschungsanlage Jülich GmbH, April 1982

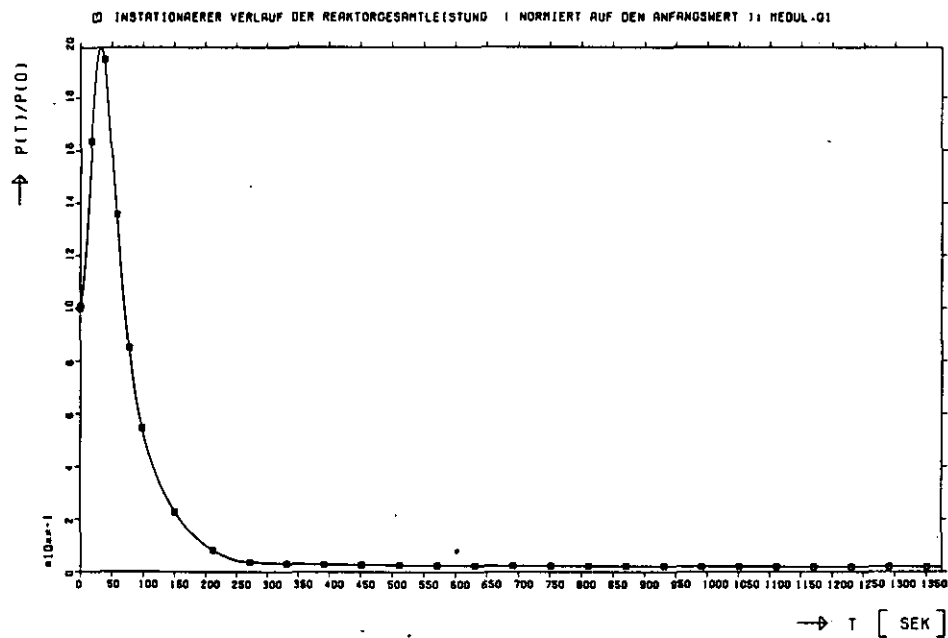


Bild 1 : Leistungstransiente, Fall 1

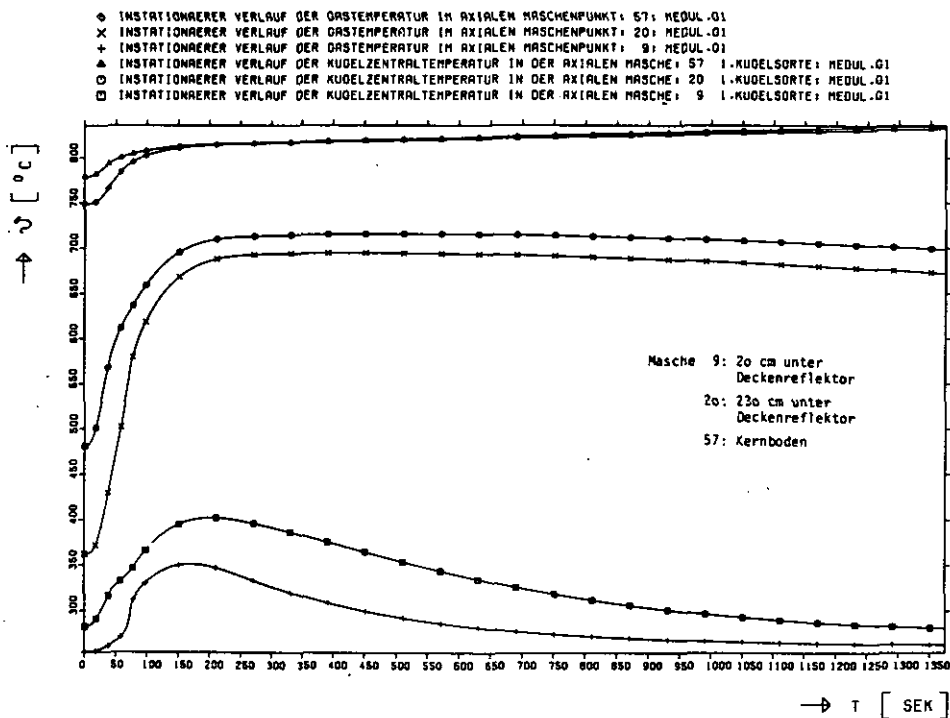


Bild 2 : Temperaturtransienten, Fall 1

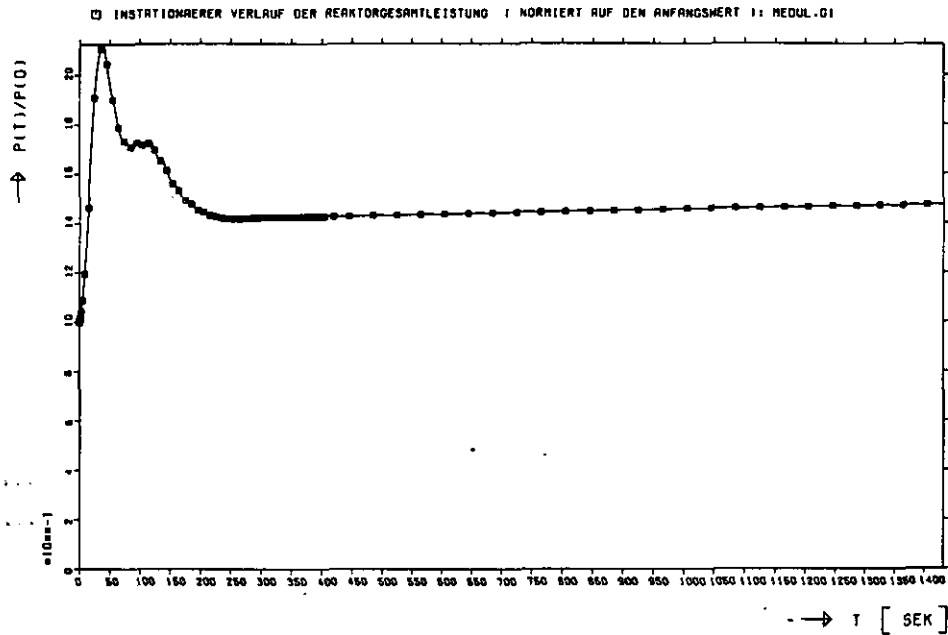


Bild 3 : Leistungstransiente, Fall 2

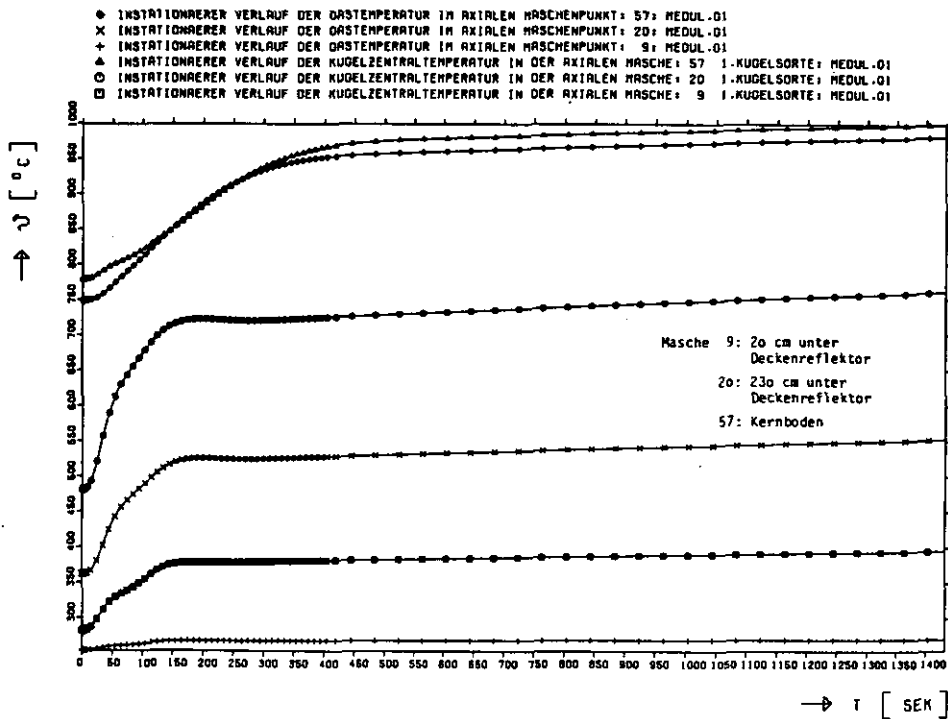


Bild 4 : Temperaturtransienten, Fall 2

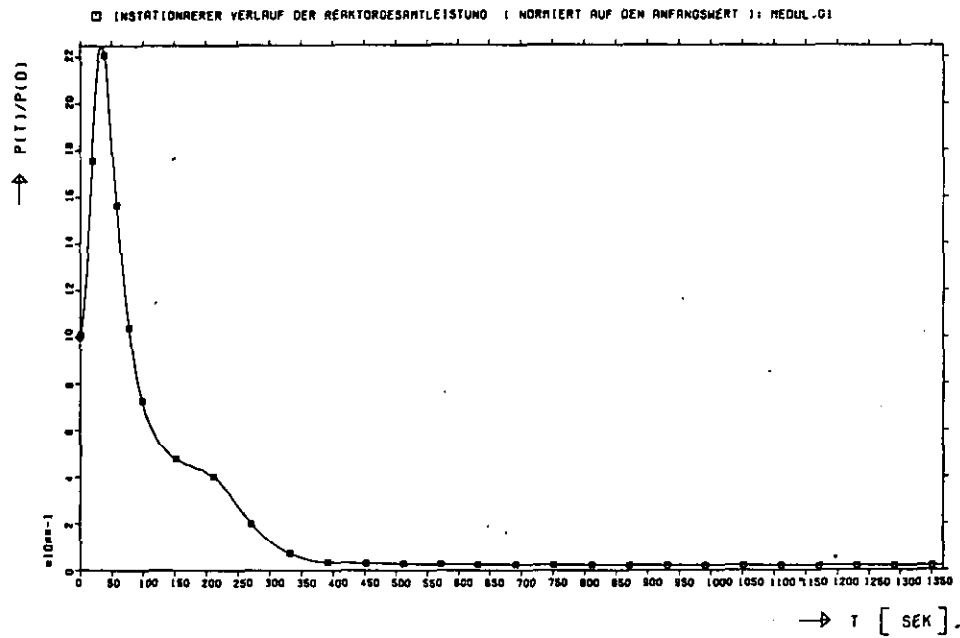


Bild 5 : Leistungstransiente, Fall 3

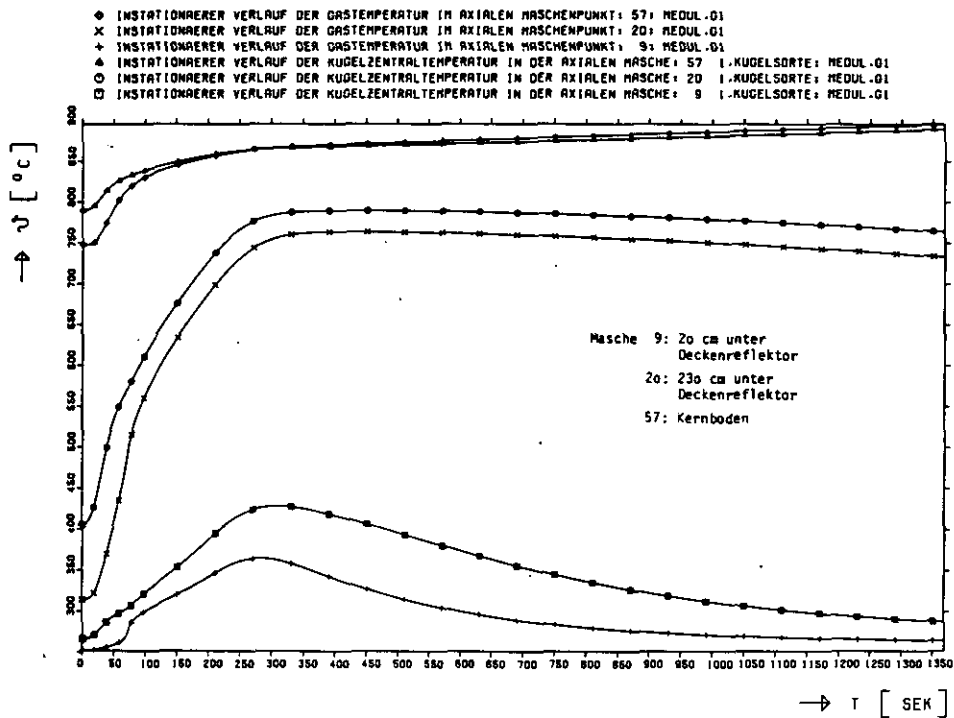


Bild 6 : Temperaturtransienten, Fall 3

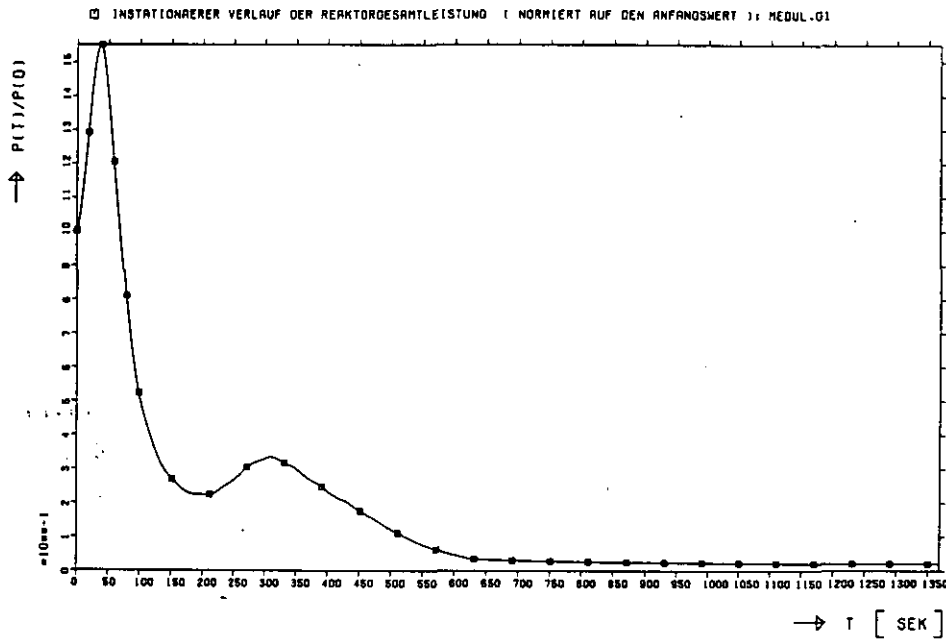


Bild 7 : Leistungstransiente, Fall 4

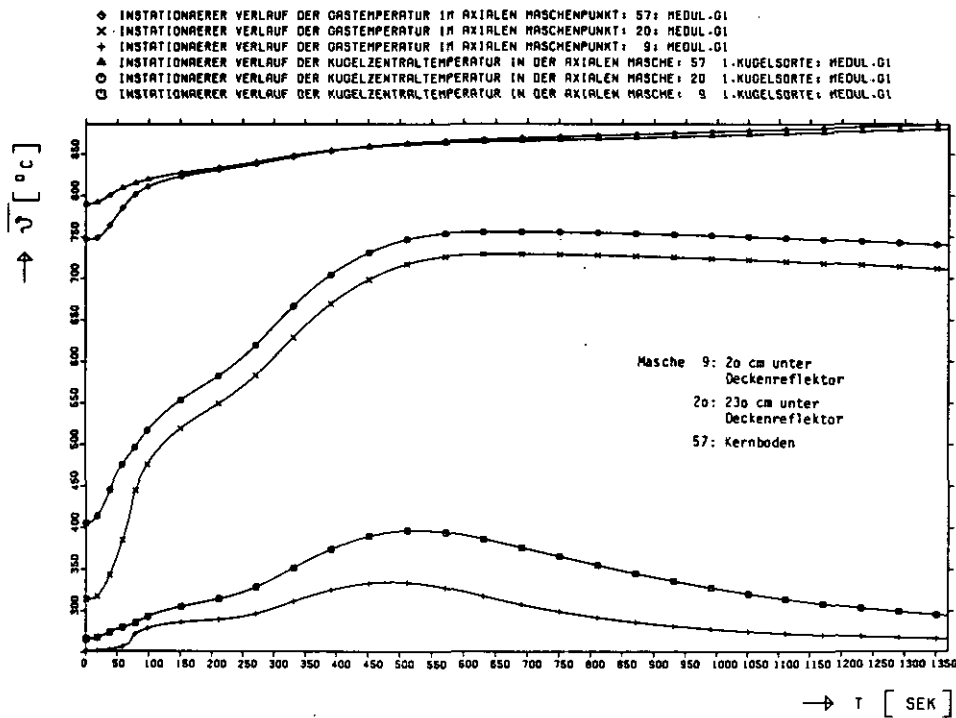


Bild 8 : Temperaturtransienten, Fall 4

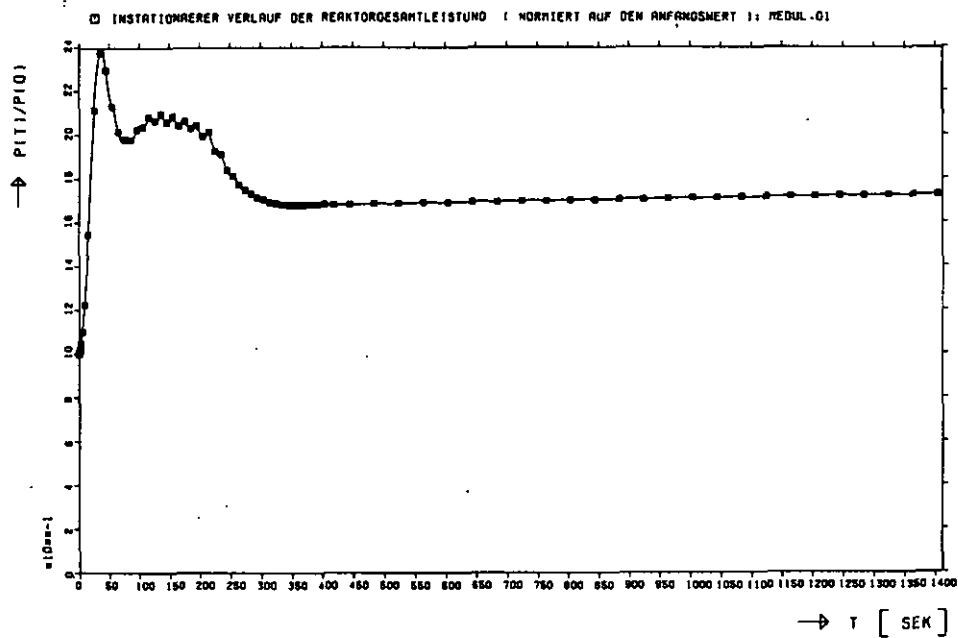


Bild 9 : Leistungstransiente, Fall 5

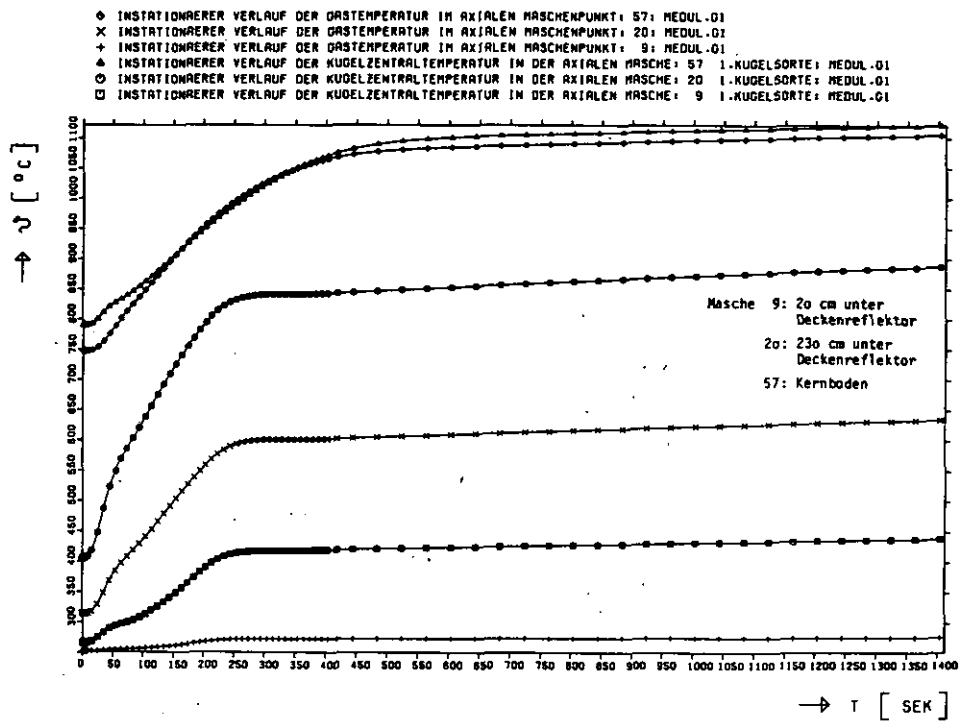


Bild 10 : Temperaturtransienten, Fall 5

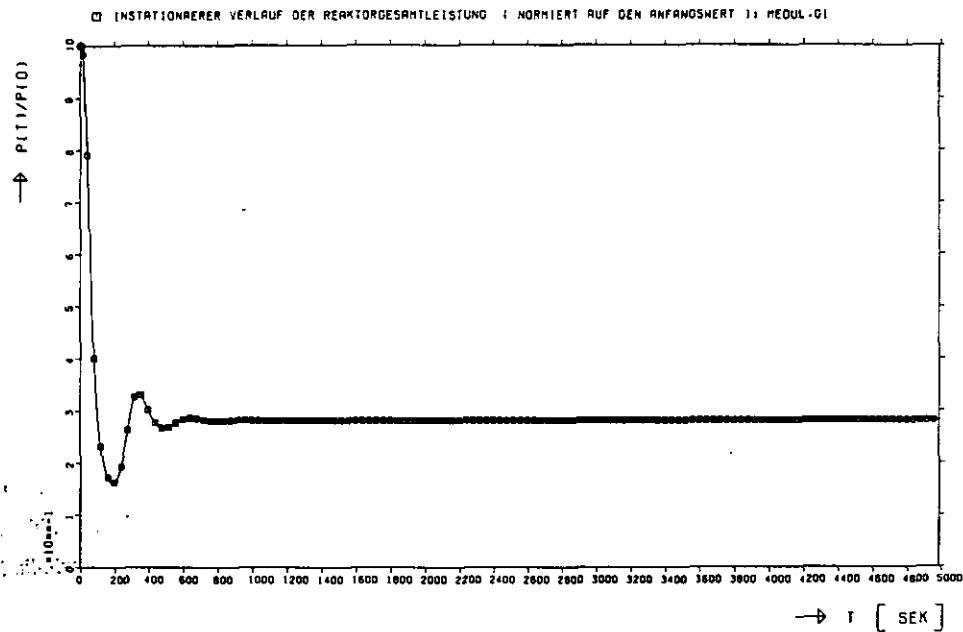


Bild 11 : Leistungstransiente, Fall 6

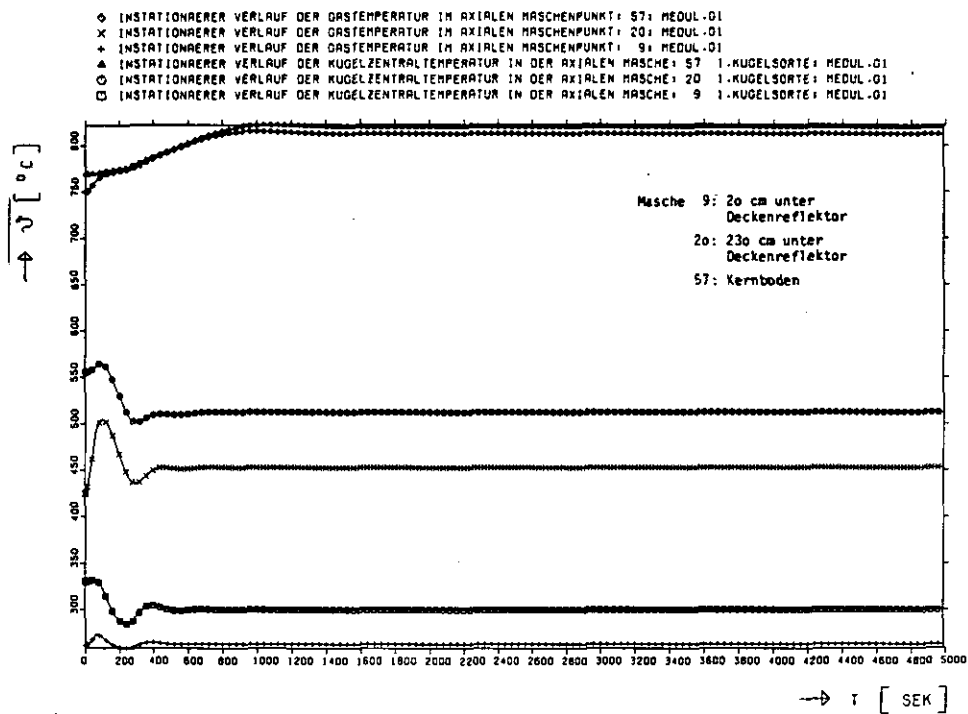


Bild 12 : Temperaturtransienten, Fall 6

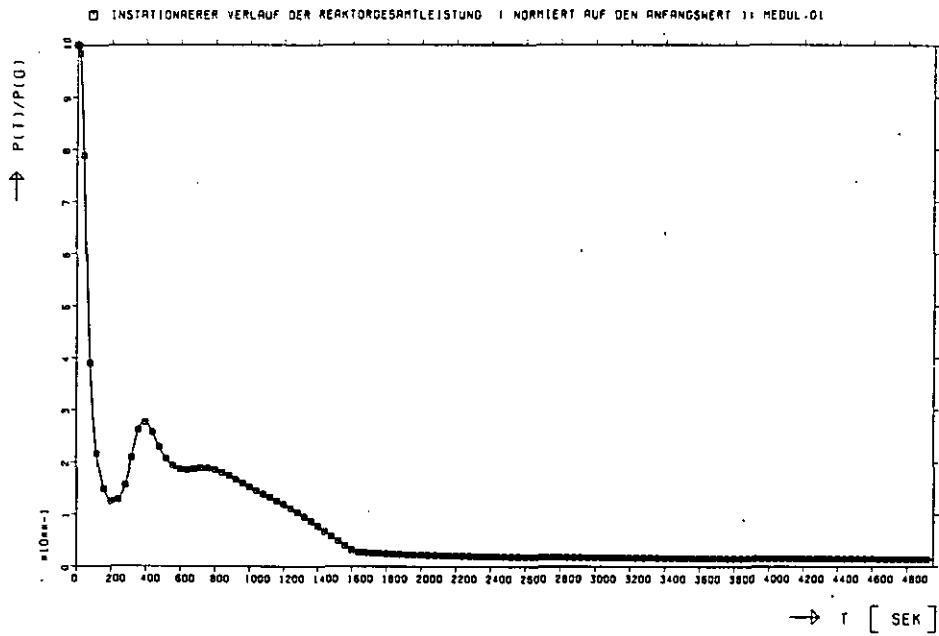


Bild 13 : Leistungstransiente, Fall 7

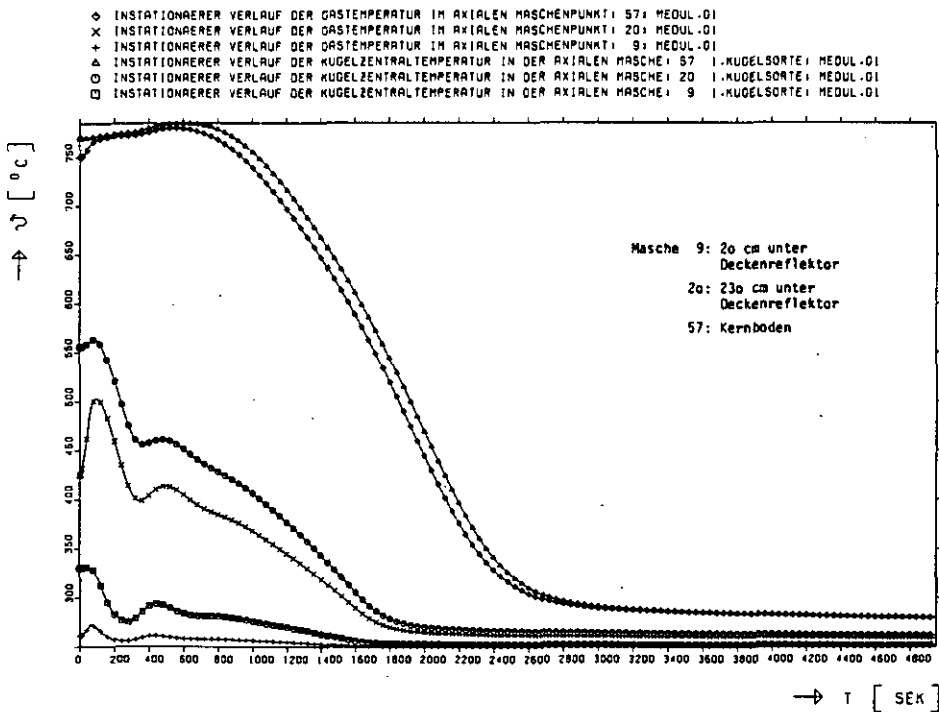


Bild 14 : Temperaturtransienten, Fall 7